

(11)Publication number : 2002-346770
(43)Date of publication of application : 04.12.2002

B23K 20/12
C22C 1/04
C22C 1/05
C22C 21/00
C22C 21/06
C22C 21/10
C22C 21/12
// B23K103:10

(72)Inventor : ISHIBASHI MAKOTO
AONO YASUHISA
OKAMURA HISANOBU
AOTA KINYA
DOI MASAYUKI

[Date of request for examination]	28.04.2004
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-346770
(P 2 0 0 2 - 3 4 6 7 7 0 A)
(43) 公開日 平成14年12月4日 (2002.12.4)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
B23K 20/12	310	B23K 20/12	310 4E067
C22C 1/04		C22C 1/04	C 4K018
1/05		1/05	C
21/00		21/00	L
			M

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全21頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-155559 (P 2001-155559)

(22) 出願日 平成13年5月24日 (2001.5.24)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 石橋 良

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 青野 泰久

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

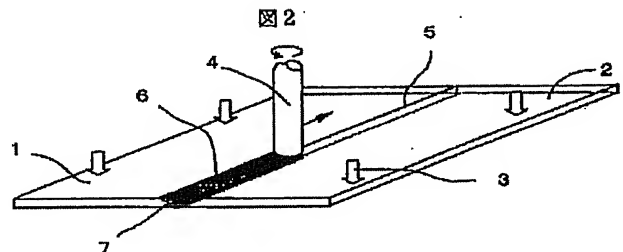
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アルミニウム基接合構造物

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、強度、耐食性などの優れた特性を維持して摩擦攪拌接合されたアルミニウム基合金構造物を提供することにある。

【解決手段】 本発明は、被接合材の少なくとも一方が、機械的合金化処理され焼結されたアルミニウム基合金又は平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていること、又被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物にある。



【特許請求の範囲】

【請求項1】被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金が、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項2】被接合材の少なくとも一方が、機械的合金化処理され焼結されたアルミニウム基合金、繰返し重ね圧延アルミニウム基合金、異周速冷間圧延アルミニウム基合金及びクロス冷間圧延アルミニウム基合金のいずれかよりなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項3】被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項4】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si + Fe 1.0%以下、Cu 0.2%以下、Mn 0.05%以下、Mg 0.1%以下、Zn 0.1%以下及びTi 0.1%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項5】重量で、Si + Fe 1.0%以下、Cu 0.2%以下、Mn 0.05%以下、Mg 0.1%以下、Zn 0.1%以下及びTi 0.1%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項6】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 1.2%以下、Fe 0.7%以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2%以下、Mg 1.8%以下、Cr 0.10%以下、Zn 0.25%以下、Zr + Ti 0.25%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項7】重量で、Si 1.2%以下、Fe 0.7%以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2%以下、Mg 1.8%以下、Cr 0.10%以下、Zn 0.25%以下、Zr + Ti 0.25%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項8】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.6%以下、Fe 0.8%以下、Cu 0.30%以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3%以下、Cr 0.20%以下、Zn 0.40%以下、Ti 0.10%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩

擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項9】重量で、Si 0.6%以下、Fe 0.8%以下、Cu 0.30%以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3%以下、Cr 0.20%以下、Zn 0.40%以下、Ti 0.10%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項10】被接合材の一方が、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 0.20%以下、Mn 1.0%以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35%以下、Zn 0.25%以下及びTi 0.20%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項11】重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 0.20%以下、Mn 1.0%以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35%以下、Zn 0.25%以下及びTi 0.20%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項12】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7%以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15%以下、Mg 0.8~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25%以下及びTi 0.20%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項13】重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7%以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15%以下、Mg 0.8~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25%以下及びTi 0.20%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項14】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30%以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1%及びZr + Ti 0.25%以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項15】重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30%以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1%及びZr + Ti 0.25%以下を

含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項16】請求項1～15のいずれかにおいて、前記アルミニウム基合金は、該合金粉末と、炭化物粉末、窒化物粉末及び酸化物粉末の少なくとも1種とを、アトライター又はボールミル装置により機械的合金化処理した後、所望の温度に加熱し、該加熱した機械的合金化処理粉末を直接押出、圧延又は鍛造することによって得られることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【請求項17】請求項6、7、12～15のいずれかにおいて、前記摩擦攪拌接合法によって接合された後、時効処理されていることを特徴とするアルミニウム基構造物。

【請求項18】請求項1～17のいずれかにおいて、前記摩擦攪拌接合法は、水、オイル及び不活性ガスのいずれかの冷却剤中、又は接合部の近傍または全体に対して前記冷却剤の噴出によって強制的に冷却しながら接合されることを特徴とするアルミニウム基合金構造物。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、微細結晶体から成るアルミニウム基材料の摩擦攪拌接合法による非溶融接合法によって微細結晶体を持つ強度、耐食性等の優れた特性を維持した接合構造のアルミニウム基合金構造物に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の金属材料の構造物を組み立てる接合法としては、材料を互いに突き合わせた部分を溶融させる溶接法が一般である。溶接により溶融部の材料の組織は解消され凝固組織となり、また熱影響部の結晶粒は成長、粗大化する。できるだけ熱影響部での結晶粒の成長、粗大化を抑制するために、母材への溶接入熱を少なくすることができるレーザ溶接（特開平11-170088）、電子ビーム溶接（特開昭62-64486）、マイクロアーク溶接（特開平9-192838）あるいは狭間先溶接方法（特開2000-246438）がある。また互いの被加工物を互いに付き合わせ高速回転して摩擦加熱により接合法（特開2000-015462）もある。一方、母材を溶融させない接合法としては、低融点のフィラーを溶融して接合する半田、ロー付け方法がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】近年、材料の強度、耐食性等の望ましい特性を付与する方法として、結晶粒径微細化の方法があり、結晶粒径が $5 \mu\text{m}$ 以下の多くの微結晶アルミニウム系材料が開発され、またされつつある（例えば、第2回スーパーメタルシンポジウム講演集(1999)〔(財)金属系材料研究開発センタ他〕）。半田、ロー

付け方法ではなく、それらの微結晶材料を用いて互いの材料を融合させた方法で接合部を作り、構造物を組み上げる時、たとえ低入熱溶接法としてのレーザ溶接、電子ビーム溶接、マイクロアーク溶接あるいは狭間先溶接方法を用いたとしても、溶融という方法で接合する限り接合部は融点まで温度が上がり、結晶粒径を制御した微細組織は接合部で解消され、熱影響部も結晶粒の成長は避けられない。また、溶融後、凝固、冷却過程を経ることで被溶接部の変形は避けられない。付き合わせ摩擦接合では通常の板材を含む接合構造物製造には不適である。

【0004】本発明の目的は、アルミニウム基材料の中でも結晶粒径をより微細にした微細結晶体に対して、その特性を維持できる接合構造を有するアルミニウム基合金構造物を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金が、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物にある。

【0006】又、本発明は、被接合材の少なくとも一方が、機械的合金化処理され焼結されたアルミニウム基合金、繰返し重ね圧延アルミニウム基合金、異周速冷間圧延アルミニウム基合金及びクロス冷間圧延アルミニウム基合金のいずれかで、好ましくは平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物にある。

【0007】更に、本発明は、被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基合金構造物にある。

【0008】すなわち、化学成分的に同種または異種の2つの微結晶体を非溶融接合法プロセスである摩擦攪拌接合法によって接合する。また上記微結晶体を用いた接合構造物は、微結晶体の接合が摩擦攪拌接合法によって施工されている構造物である。

【0009】本発明は、重量で、Si+Fe 1.0%以下、Cu 0.2%以下、Mn 0.05%以下、Mg 0.1%以下、Zn 0.1%以下、Ti 0.1%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなる純アルミニウムにおいて、それらの平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0010】本発明は、重量で、Si+Fe 1.0%以下、Cu 0.2%以下、Mn 0.05%以下、Mg 0.1%以下、Zn 0.1%以下、Ti 0.1%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなる純アルミニウムにおいて、平均結晶粒径が前述の

10

20

30

40

50

範囲にある一方の微結晶の部材と 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0011】本発明は、重量で、Si 1.2%以下、Fe 0.7%以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2%以下、Mg 1.8%以下、Cr 0.10%以下、Zn 0.25%以下、Zr+Ti 0.25%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—銅—マグネシウム系合金において、それらの平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0012】本発明は、重量で、Si 1.2%以下、Fe 0.7%以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2%以下、Mg 1.8%以下、Cr 0.10%以下、Zn 0.25%以下、Zr+Ti 0.25%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—銅—マグネシウム系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0013】本発明は、重量で、Si 0.6%以下、Fe 0.8%以下、Cu 0.30%以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3%以下、Cr 0.20%以下、Zn 0.40%以下、Ti 0.10%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マンガン系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0014】本発明は、重量で、Si 0.6%以下、Fe 0.8%以下、Cu 0.30%以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3%以下、Cr 0.20%以下、Zn 0.40%以下、Ti 0.10%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マンガン系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と、 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0015】本発明は、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 0.20%以下、Mn 1.0%以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35%以下、Zn 0.25%以下、Ti 0.20%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0016】本発明は、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 0.20%以下、Mn 1.0%以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35%以下、Zn 0.25%以下、Ti 0.20%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と、 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0017】本発明は、重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7%以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15%以下、Mg 0.8

~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25%以下、Ti 0.20%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0018】本発明は、重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7%以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15%以下、Mg 0.8~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25%以下、Ti 0.20%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と、 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0019】本発明は、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30%以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1%、Zr+Ti 0.25%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0020】本発明は、重量で、Si 0.40%以下、Fe 0.50%以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30%以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1%、Zr+Ti 0.25%以下を含有し、残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と、 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0021】本発明は、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmである純アルミニウム、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マンガン系合金、アルミニウム—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において、それらの内、2つの異種の純アルミニウムまたはアルミニウム基合金同士が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0022】本発明では、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmの範囲にあるアモルファス相を含まないアルミニウム基微結晶は、合金粉末に、炭化物粉末、窒化物粉末または酸化物粉末を混合し、アトライターあるいはボールミル装置により機械的グラインディング及び合金化処理し、該加工粉末を適切な材料、寸法及び形状の容器に真空封入した後、好ましくは400~500℃の温度範囲で粉末直接押出、圧延もしくは鍛造する事で作製されることを特徴とする。

【0023】本発明は、純アルミニウム、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マンガン系合金、アルミニウム—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金の内の一合金からでき

10

20

30

40

50

た、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmの範囲にある微結晶を有する部材と、前記純アルミニウムおよびアルミニウム合金の内前記微結晶と異なる一合金からできた、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える範囲にある結晶を有する部材が、摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0024】本発明では、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、またはアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金が、同種どうしまたは異種の純アルミニウムおよびアルミニウム合金と摩擦攪拌接合法によって接合された後、好ましくは $100 \sim 200^\circ\text{C}$ の温度で時効処理されることを特徴とする。

【0025】本発明では、アルミニウム基材料微結晶の摩擦攪拌接合は、水またはオイルまたは不活性ガスのいずれかの冷却剤の中でまたは接合部の近傍または全体に前述の冷却剤をかけながら接合するのが好ましい。

【0026】摩擦攪拌接合は、特表平7-505090号公報に記載されているように、高速回転する耐熱性、難反応性材料からなる棒（ツール）を接合しようとする部分に押し付けることにより発生する摩擦熱で容易に融点以下の高温となり、金属被加工物に塑性流動を起こし両側の金属部分を攪拌接合する方法である。さらにツールを接合線に沿って移動することにより接合、曲線接合部を含む接合構造物が作製できる。付き合わせ摩擦接合では接合、曲線接合は困難である。

【0027】一方、前記したように、各種材料組織制御プロセスの革新によりアルミニウム基材料では粒径 100 nm以上 $5 \mu\text{m}$ 以下の超微細結晶が製造されている

（例えば、第2回スーパーメタルシンポジウム講演集(1999)〔(財)金属系材料研究開発センタ他〕）。しかしながら、微結晶の強度、耐食性等のすばらしい特性も構造物として活かすとき、従来接合方法では微結晶特性を維持することができず、非溶接部材の用途に限定されていた。従来接合方法の低入熱溶接、特に狭開先溶接で対処しようと試みもあるが、溶接部の組織解消、熱影響部の結晶粒粗大化は避けられない。

【0028】アルミニウム基材料の摩擦攪拌接合は、高速回転するツールが被加工物に押し込まれ、発熱しつつ塑性流動攪拌されるときに、十分に高温に耐えるツールの使用、及び攪拌部内部からの押し上げる圧力耐えられる剛性をもった装置で実施できる。一般に摩擦攪拌部の最高温度は摂氏で融点の $2/3$ に相当し、融点が 660°C 回りにあるアルミニウム基材料では 450°C 程度にある。この温度での摩擦攪拌部の組織は、微結晶よりも粗大化するが、通常の溶接施工の場合にあらわれる溶融後の凝固組織ではなく、凝固収縮も発生しない。

【0029】また摩擦攪拌部と隣接する部材の熱影響部でも受ける温度—時間の熱履歴が小さいため結晶粒成長

は大きくない。これらの効果から従来溶接法に比べて接合後の材料変形は十分に小さい特徴をもつ。特に、結晶粒が微細な分散化合物粒子等によってピンングされている、つまり材料構造的にその微細分散粒子を生成させて微結晶を形成させているアルミニウム基材料においては、攪拌という高温での塑性変形において超塑性の発現も活用でき、また存在する微細分散粒子による粒界のピン止め効果も加味されて、接合時の結晶粒成長抑制効果がより大きい。上記の摩擦攪拌接合の優れた効果は、具体的に、平均結晶粒径が、 $100 \sim 5 \times 10^3$ の範囲にある純アルミニウム、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マンガン系合金、アルミニウム—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金にも生じる。

【0030】アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金は、時効熱処理により高強度化される合金である。溶融させない摩擦攪拌接合といえども、接合部および周辺部の熱影響部は溶体化処理温度程度まで温度が上昇するため、時効処理材をそのまま接合しただけでは接合部周辺の強度は低い。したがって、接合後 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ で時効処理を実施することにより良質な接合部を得ることができる。

【0031】接合構造物として一部あるいは全てを微結晶材料で構成する場合は、その特性の低下を押さえる摩擦攪拌接合の特徴を活かすことができるが、更に接合構造物内の残留応力及び構造物の変形をより低減すると共に、その高い特性維持するためには、水またはオイルまたは不活性ガスのいずれかの冷却剤で接合部を強制的に冷却する施行を実施することがより効果的である。

【0032】

【発明の実施の形態】（実施例1）表1は本発明に係る摩擦攪拌接合、つまり突き合わせ接合の試験に供される板状試料の化学成分（重量%）である。ここでは、純アルミニウム（No. 1）、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金（No. 2）、アルミニウム—マンガン系合金（No. 3）、アルミニウム—マグネシウム系合金（No. 4）、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金（No. 5）、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金（No. 6）の代表例となる微結晶体材料と、通常の結晶粒径（ $5 \mu\text{m}$ 以上）を有し、化学成分において、あるいは結晶学的、組織的に上記の材料に最も近い代表的な材料（No. 7—12）を示す。また、表1には同時に各供試材の平均結晶粒径、強度データとしての引張強さ、塑性伸びも示される。

【0033】

【表1】

表1

供試材料		主要化学組成(質量%)									
No.	材料系	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
1	純Al	0.19	0.23	0.03	0.04	0.03	—	0.03	0.04	—	残部
2	Al-Cu-Mg系	0.52	0.65	3.8	0.51	0.48	0.10	0.24	0.09	0.13	残部
3	Al-Mn系	0.60	0.72	0.31	1.22	0.34	0.09	0.25	0.11	—	残部
4	Al-Mg系	0.24	0.39	0.09	0.82	2.78	0.14	0.26	0.19	—	残部
5	Al-Mg-Si系	0.59	0.38	0.11	0.12	0.82	0.09	0.11	0.10	—	残部
6	Al-Zn-Mg系	0.28	0.34	0.18	0.31	0.9	0.24	5.1	0.21	0.24	残部
7	純Al†	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	—	0.04	0.03	—	残部
8	Al-Cu-Mg系†	0.60	0.7	4.0	0.50	0.50	0.10	0.26	0.08	0.12	残部
9	Al-Mn系†	0.81	0.7	0.30	1.2	0.35	0.10	0.26	0.10	—	残部
10	Al-Mg系†	0.25	0.40	0.10	0.83	2.8	0.15	0.25	0.20	—	残部
11	Al-Mg-Si系†	0.60	0.35	0.10	0.10	0.80	0.10	0.10	0.10	—	残部
12	Al-Zn-Mg系†	0.30	0.35	0.20	0.30	1.0	0.25	5.0	0.20	0.25	残部

供試材料		平均の結晶粒径d	引張強さ(MPa)	伸び(%)
No.	材料系			
1	純Al	720 nm	292	8
2	Al-Cu-Mg系	2.1 μm	520	10
3	Al-Mn系	1.8 μm	360	8
4	Al-Mg系	1.8 μm	502	6
5	Al-Mg-Si系	380 nm	355	6
6	Al-Zn-Mg系	1.8 μm	620	16
7	純Al†	84 μm	110	8
8	Al-Cu-Mg系†	53 μm	408	10
9	Al-Mn系†	72 μm	205	10
10	Al-Mg系†	52 μm	295	12
11	Al-Mg-Si系†	58 μm	306	12
12	Al-Zn-Mg系†	64 μm	562	12

*:MM+HIP+熱間加工プロセスで作製された微結晶
*:圧延+熱処理プロセスで作製された微結晶
†:JIS規格の通常材料

*:MM+HIP+熱間加工プロセスで作製された微結晶

*:圧延+熱処理プロセスで作製された微結晶

†:JIS規格の通常材料

【0034】粒径の測定は、平均粒径1 μm以下のものについてはTEM観察の暗視野像に対して、平均粒径1 μm以上のものについてはSEM観察像に対して実施した。No. 8, 11, 12の材料の強度と伸びは、溶体化処理後人工時効処理を施した場合の値である。

【0035】図1に代表例としてNo. 1の微視組織を示す。平均粒径は720 nmである。表1に示す材料は、表2に示すプロセスで作成された。No. 1~6の微結晶板材の具体的な作成方法について以下に示す。No. 1およびNo. 5の材料は、まず熱間加工で厚さ4 30 mmに加工した板材を、所定の温度で圧下率50%の無

潤滑圧延を行った。次に、この圧延材を圧延方向で二等分し表面をワイヤブラシで研磨して、これらを重ね合わせ再度所定の温度で圧下率50%の圧延を行う。これを1サイクルとして、No. 1では8サイクル、No. 5では6サイクル繰返した。No. 2とNo. 6の材料は、熱間圧延で厚さ50 mmとしたブロック材に対して、340℃で温間圧延を行った。厚さ2 mmまで1パスごとに圧延方向を90°変えるクロス圧延を16パス行った。

【0036】

【表2】

表2

供試材料		作製プロセス	接合後熱処理
No	材料系		
1	純Al	溶製材を熱間圧延後、200℃で繰返し重ね接合圧延を8サイクル	-
2	Al-Cu-Mg系	溶製材を熱間圧延後、340℃でクロス圧延を16パス	時効処理(175℃10時間)
3	Al-Mn系	ガスアトマイズ粉末を、TiCとともにメカニカルアロイングし、450℃で熱間押出、冷間圧延	-
4	Al-Mg系	溶製材を熱間圧延後、90%異周速冷間圧延	-
5	Al-Mg-Si系	溶製材を熱間圧延後、室温で繰返し重ね接合圧延を8サイクル	時効処理(175℃8時間)
6	Al-Zn-Mg系	溶製材を熱間圧延後、340℃でクロス圧延を16パス	時効処理(120℃24時間)
7	純Al	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
8	Al-Cu-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(505℃に保持後水冷)	時効処理(175℃10時間)
9	Al-Mn系†	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
10	Al-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
11	Al-Mg-Si系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(525℃に保持後水冷)	時効処理(175℃8時間)
12	Al-Zn-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(460℃に保持後水冷)	時効処理(120℃24時間)

* : MM+HIP+熱間加工プロセスで作製された微結晶

* : 圧延+熱処理プロセスで作製された微結晶

† : JIS規格を含む通常材料

【0037】 No. 3の材料は表1に示した組成のガスアトマイズ粉末を作製し、その粉末にTiC粉末を添加し、SUS304鋼のボールとともに、SUS304鋼製の高エネルギーボールミル容器内でメカニカルアロイング(MA)処理することにより強加工粉末を得る。加工粉の重量は約1kgである。MA処理粉末を軟鋼缶中に真空キャニングし、450℃に加熱後すばやく、押出比約6で熱間押出加工を行った。熱間押出材は冷間圧延により、最終的に $2 \times 50 \times 200 \text{ mm}^3$ の寸法に加工される。MA処理の強加工によって粉末内の組織はナノレベルまで微細化し、固化成形プロセスでの組織の粗大化を、TiCあるいは材料中の金属間化合物の微細析出により抑制され、微細結晶が得られる。

【0038】 No. 4の材料は、板厚20mmの熱間圧延材に対して、上下ロール異周速比1.5、高速ロール側の圧延速度0.16m/s、無潤滑の条件で異周速圧延を行った。圧延前に340℃まで加熱し、最終的に板厚2mmまで圧延した。

【0039】 付き合わせ接合は表3に示される組み合わせに従い実施される。例えば、表1のNo. 1とNo. 7の材料の接合組み合わせは1-7として表示される。表1の材料に対して全ての付き合わせ接合は実施されないが、本発明に関する微結晶同士、微結晶と通常参照材、純アルミニウム、アルミニウム-銅-マグネシウム系合金、アルミニウム-マンガン系合金、アルミニウム-マグネシウム系合金、アルミニウム-マグネシウム-シリコン系合金、およびアルミニウム-亜鉛-マグネシウム系合金間の異種接合の実施例としては十分である。

【0040】 図2は摩擦攪拌接合方法を示す斜視図であ

る。まず、組み合わせの供試材1, 2が鉄製の定盤上に置かれ、付け合わせた後、押さえ治具3で固定する。高速回転する棒状の工具鋼製ツール4を接合部に挿入し、接合線5に沿って移動させることで摩擦攪拌接合を実施する。供試材1, 2は接合中、-20℃に管理されたオイルによって冷却される。接合後には接合ビード6が形成され、接合断面7中央から母材に向けて塑性流動域、塑性変形域、熱影響部が形成される。

【0041】 工具鋼製ツールの先端は凸型になっており、最先端の小径部(ピン)はMネジが切られおり、その寸法は5mmφ、長さは2mm弱、大径のショルダー部は15mmφである。小径部は、ショルダー部が被加工物に接するまで、材料中に挿入される。回転数は1000rpm、移動速度は200mm/minとした。回転数と移動速度は可変であるが、本実施では上記に固定した。

【0042】 また、接合時の接合温度測定も、付き合わせ部の下方に熱電対を埋め込むことによって、No. 3, 5, 6材に関して実施した。接合ビード直下の温度はどの場合も450~500℃の範囲にあり、融点の約2/3に相当した。また、供試材を固定している定盤の底部に設置したロードセルによって、接合時の下向き荷重を測定した結果、接合時のツールへの最大圧力は材質によるが65~95MPaの範囲にあった。

【0043】 図3は代表例として3-3継ぎ手の外観と、断面を示す写真である。接合欠陥もなく接合されている。接合ビード幅はツールショルダー径にほぼ一致しており、断面形状から供試材1, 2の付き合わせ面を完全に攪拌したように裏面まで接合されている。実施した

全ての付き合い合せ接合試験において同様の結果が得られた。組織的には、3-3 接合体の攪拌部の結晶粒径は $3.2\mu\text{m}$ と、粗大化の程度は大きくない。摩擦攪拌接合は微結晶組織を十分保てる接合方法と言える。

【0044】表3に実施された、付き合い合せ接合試験の接合部の評価結果を纏めて示す。評価は摩擦攪拌接合部を含む構造物の実用性判断から良し (○)、概ね良し (△)、不合格 (X) で表示し、攪拌部の粒径 (○: 攪拌部の結晶粒径が $5\mu\text{m}$ 以下、△: $5\mu\text{m}$ から参照の通常材 (No. 7-12) の粒径の範囲、X: 通常材粒径以上および組織的に実用化には不可の場合)、引張強さ

表 3

継ぎ手組合せ	攪拌部の粒径評価	引張り強さ評価	伸び評価	総合評価	備 考
1-1	△	△	△	△	攪拌部と熱影響部で粒径 $7\mu\text{m}$ まで結晶粒成長、伸び9%。熱影響部で破断。
2-2	○	○	△	○	伸び9%。接合部で破断。
3-3	○	○	△	○	伸び7%。接合部とNo. 3材界面で破断。
4-4	○	○	△	○	伸び5%。接合部で破断。
5-5	○	○	△	○	伸び4%。接合部で破断。
6-6	○	○	○	○	伸び12%。接合部で破断。
1-7	△	○	○	○	伸び14%。No. 7材で破断。
2-8	○	○	○	○	伸び10%。No. 8材で破断。
3-9	○	○	△	○	伸び9%。No. 9材で破断。
4-10	○	○	△	○	伸び8%。No. 10材で破断。
5-11	○	○	△	○	伸び8%。No. 11材で破断。
6-12	○	○	○	○	伸び12%。No. 12材で破断。
2-3	○	○	△	○	伸び9%。No. 3材で破断。
2-9	○	○	○	○	伸び10%。No. 9材で破断。
4-5	○	○	△	○	伸び5%。No. 5材で破断。
4-11	○	○	○	○	伸び10%。No. 11材で破断。
6-1	△	△	△	△	No.1の熱影響部で粒径 $7\mu\text{m}$ まで粒成長、伸び9%。No. 1の熱影響部で破断。
6-7	○	○	○	○	伸び12%。No. 7材で破断。

【0046】付き合い合せ接合の結果を総合的に見てみると、以下のような結果になる。微結晶同士の接合では結晶粒の成長はあるものの攪拌部は微結晶組織である。強度特性も十分である。異材との接合は攪拌部では、互いがミクロレベルで混合した均質な組織ではなく相互の組織がマクロ的に確認できる混合組織となっている。ここでNo. 2-No. 6の微結晶材料の接合部は粒成長するものの依然微結晶である。No. 1の純アルミニウムは分散粒子がないために、特に熱影響部において粗大化の程度が大きかった。

【0047】継ぎ手がNo. 7-12である場合は相互の結晶粒は確認でき、微結晶側よりも結晶粒径はやはり十分に大きい。表3では総合評価を○としたが、2-2、5-5、6-6、2-8、5-11、6-12、2-3、2-9、4-5、4-11、6-1、6-7の引張試験片に対して、それぞれ表2に記載の時刻処理を実施すると、攪拌部ならびに熱影響部は勿論母材部も硬化し、堅固な接合部を得ることができ、接合部の強度と変形特性が向上する。接合構造物において、時刻処理により高強度化するアルミニウム合金について、接合部

(○: 微結晶の値と参照材の値の和の $1/2$ 以上、△: 微結晶の値と参照材の値の和の $1/2$ から参照材の値の範囲、X: 参照材の値以下)、塑性伸び (○: 10% 以上、△: 3 から 10% の範囲、X: 3% 以下) とした。接合部の総合評価は良し (○)、不可 (X) で示す。継ぎ手の引張試験は、変形部が中央に約 15mm 幅の接合部を含み、ゲージ部寸法が $1.5 \times 4 \times 35\text{mm}^3$ であるショルダー付きの試験片を接合材から切り出し、加工して実施される。

【0045】

【表3】

を含めた部分あるいは全体を上記のような方法で熱処理することで健全な接合構造物を得ることができる。

【0048】(実施例2) 実施例1の付き合い合せ接合により微結晶材料の接合性は基本的に十分評価できるが、接合構造物の中で活用される各種接合方法に関し実施例を示す。ここでは、図4に示すように重ね合わせ接合を実施する。本接合では付き合い合せ接合ではないが、代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。板材の寸法は実施例1と同じである。定盤の上に一方の板材8を置き、付き合い合せするように同じ厚さの鉄製の受け手材9を置く。板材8に重なるようにもう一方の板材10を置き、押さえ治具3で各板材を固定する。重ね幅は 15mm である。

【0049】ショルダー径 12mm 、ピン径 4mm 、ピン長さ 3mm の工具鋼製ツール4を用い回転数 1000rpm 、移動速度 200mm/min で接合した。接合深さは 3mm 程度で、下の板材8には 1mm 程度の深さまで攪拌接合される。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の

結果と同様の評価を与える。重ね合わせの上下が変わっても接合攪拌部状態は変わらない。3例であるが、他の組み合わせでも十分接合は期待できる。

【0050】(実施例3) 図5に示すようにT型継ぎ手の接合を実施する。本接合では代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。板材の寸法は実施例1と同じである。ここで、立てた一方の板材11を挟み込むように鉄製の受け手材12を設定し、その上に中央部が立てた板材11上に設定できるように他方の板材13を置き、押し付け治具3及び14で各板材を固定する。タングステン製ツール4先端寸法は実施例2と同じである。回転数1000rpm、移動速度200mm/minで接合した。4-11の組み合わせについては、接合後表2記載の175℃8時間の時効処理を実施した。接合状況は実施例2と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0051】(実施例4) 図6に示すようにT型継ぎ手の接合を実施する。本接合では代表例として表1のNo. 4、6に対してパイプの製作を実施する。2x100x200mm³寸法の上記の板材を円筒材15になるように曲げ変形させた後、鉄製の受け手板16を付き合わせ線、すなわち接合線5の真下に来るように挿入する。その後開先が開かないよう点溶接あるいは摩擦攪拌接合で仮付け17処理する。受け板を固定し、さらに押さえ治具3で円筒を十分固定する。接合線5にツールを挿入し、接合線5に沿って移動することでパイプを作製できる。端部の未接合部は切断除去する。ここでタングステン製ツール4先端寸法はショルダー径が8mm、ピン径が4mm、その長さは2mm弱とする。回転数1200rpm、移動速度200mm/minで接合した。接合状況は実施例1と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0052】(実施例5) 図7に示すようにパイプ継ぎ手の接合を実施する。パイプ材のNo. 4、10、11は実施例4に準じて作製されるものである。本接合では代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。各パイプの長さは150mmである。パイプ材18にパイプ内径に十分近い円盤上の受け手材19をその厚さの半分程度挿入し、片方に他方のパイプ

20を挿入する。付き合わせ面(溶接線5)が開かないように実施例と同様に対角になるよう4点仮付け17しておく。パイプの両端を押さえ治具3で固定し、ツールを接合線5に挿入する、この場合、ツールは回転数1200rpmとして動かさず、パイプ全体をパイプの中心で回転させながら接合速度移動速度130mm/minで双方のパイプを接合する。

【0053】4-11の組み合わせについては、接合後表2に記載の175℃8時間の時効処理を実施した。接合状況は実施例2と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例2、3の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0054】実施例1~5で代表的な摩擦攪拌接合方法を実施したが、構造物の接合組み立てに必要なとする異厚材の接合、充填材を隅に貼り付け固定して実施する隅肉接合等の他の摩擦攪拌接合も実質的に可能であり、微結晶材料を組み合わせた構造物の接合に摩擦攪拌接合は十分に適用できる。

【0055】

【発明の効果】本発明によれば、アルミニウム基合金微細結晶体の優れた強度、耐食性といった特性を損なうことなく、この微結晶同士、もしくはこの微結晶と粒径5μm以上の結晶ととの接合体からなるアルミニウム基合金構造物を作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 微結晶アルミニウム基合金のTEM組織を示す模式図。

【図2】 突き合わせ摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図3】 微結晶アルミニウム合金の摩擦攪拌接合部の外観写真。

【図4】 重ね合わせ摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図5】 T型摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図6】 摩擦攪拌接合によるパイプ作製方法を示す斜視図。

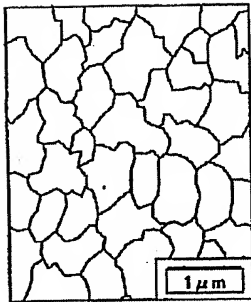
【図7】 パイプの摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【符号の説明】

1、2…組み合わせの供試材、3、14…押さえ治具、4…ツール、5…接合線、6…接合ビード、7…接合断面、8、10、11、13…板材、9、12、16、19…受け手材、15…円筒材、17…仮付け、18、20…パイプ材。

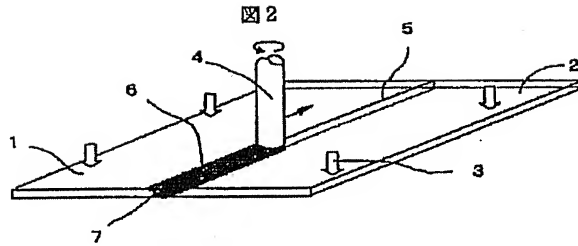
【図1】

図1



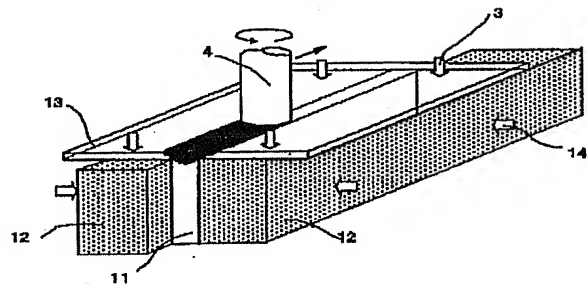
【図2】

図2



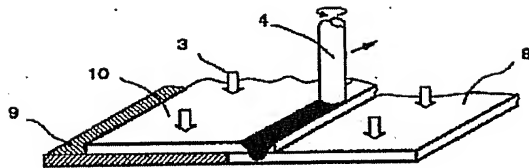
【図5】

図5



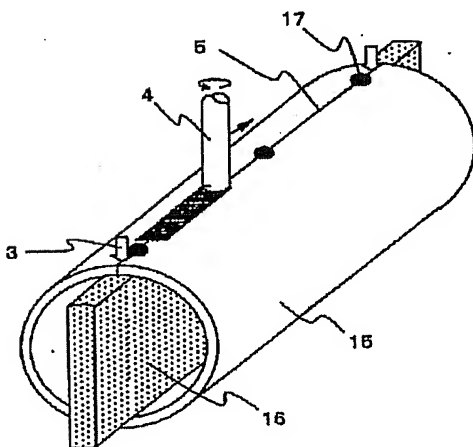
【図4】

図4



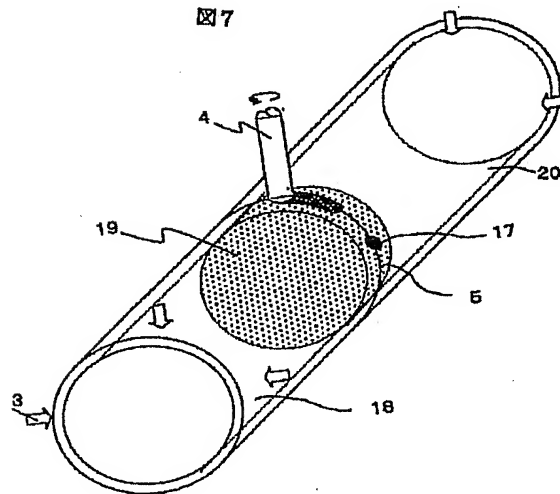
【図6】

図6



【図7】

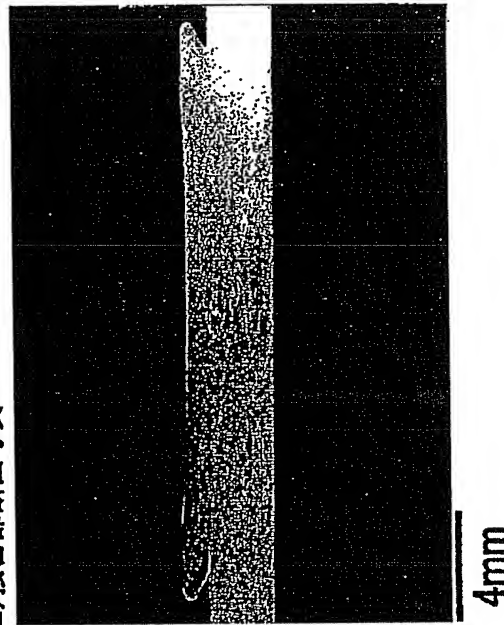
図7



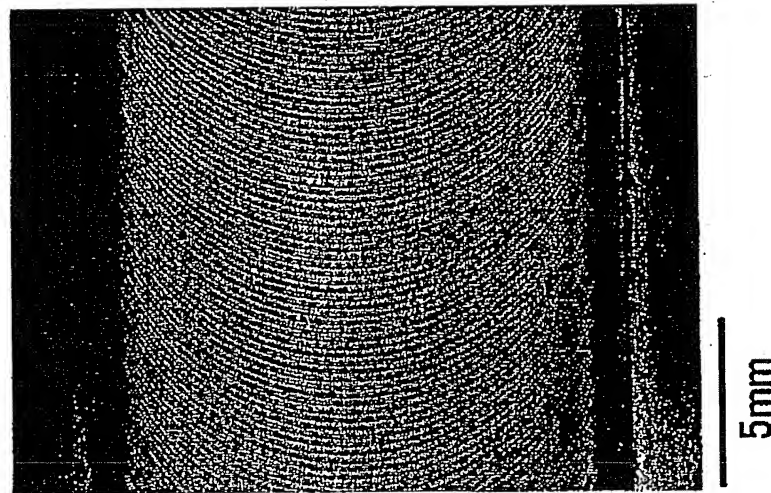
【図 3】

図 3

(2) 接合部断面写真



(1) 縦き手の接合部ード外観写真



【手続補正書】

【提出日】平成13年5月25日（2001. 5. 25）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】アルミニウム基接合構造物

【特許請求の範囲】

【請求項1】被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmであるアルミニウム又はアルミニウム基合金が、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項2】被接合材の少なくとも一方が、機械的合金化処理され焼結されたアルミニウム基合金、繰返し重ね圧延アルミニウム基合金、異周速冷間圧延アルミニウム基合金及びクロス冷間圧延アルミニウム基合金のいずれかよりなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 3】被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 4】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si + Fe 1.0% 以下、Cu 0.2% 以下、Mn 0.05% 以下、Mg 0.1% 以下、Zn 0.1% 以下及び Ti 0.1% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 5】重量で、Si + Fe 1.0% 以下、Cu 0.2% 以下、Mn 0.05% 以下、Mg 0.1% 以下、Zn 0.1% 以下及び Ti 0.1% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 6】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 1.2% 以下、Fe 0.7% 以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2% 以下、Mg 1.8% 以下、Cr 0.10% 以下、Zn 0.25% 以下、Zr + Ti 0.25% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 7】重量で、Si 1.2% 以下、Fe 0.7% 以下、Cu 3.9~6.8%、Mn 1.2% 以下、Mg 1.8% 以下、Cr 0.10% 以下、Zn 0.25% 以下、Zr + Ti 0.25% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 8】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.6% 以下、Fe 0.8% 以下、Cu 0.30% 以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3% 以下、Cr 0.20% 以下、Zn 0.40% 以下、Ti 0.10% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 9】重量で、Si 0.6% 以下、Fe 0.8% 以下、Cu 0.30% 以下、Mn 0.8~1.5%、Mg 1.3% 以下、Cr 0.20% 以下、Zn 0.40% 以下、Ti 0.10% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 10】被接合材の一方が、重量で、Si 0.40%

以下、Fe 0.50% 以下、Cu 0.20% 以下、Mn 1.0% 以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35% 以下、Zn 0.25% 以下及び Ti 0.20% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 11】重量で、Si 0.40% 以下、Fe 0.50% 以下、Cu 0.20% 以下、Mn 1.0% 以下、Mg 0.50~5.0%、Cr 0.35% 以下、Zn 0.25% 以下及び Ti 0.20% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 12】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7% 以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15% 以下、Mg 0.8~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25% 以下及び Ti 0.20% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 13】重量で、Si 0.40~0.8%、Fe 0.7% 以下、Cu 0.15~0.40%、Mn 0.15% 以下、Mg 0.8~1.2%、Cr 0.04~0.35%、Zn 0.25% 以下及び Ti 0.20% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 14】被接合材の少なくとも一方が、重量で、Si 0.40% 以下、Fe 0.50% 以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30% 以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1% 及び Zr + Ti 0.25% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金からなり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 15】重量で、Si 0.40% 以下、Fe 0.50% 以下、Cu 1.2~2.0%、Mn 0.30% 以下、Mg 2.1~2.9%、Cr 0.18~0.28%、Zn 5.1~6.1% 及び Zr + Ti 0.25% 以下を含有し、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nm であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が 5×10^3 nm を越える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 16】請求項 1~15 のいずれかにおいて、前記アルミニウム基合金は、該合金粉末と、炭化物粉末、窒化物粉末及び酸化物粉末の少なくとも 1 種とを、アトライター又はボールミル装置により機械的合金化処理した後、所望の温度に加熱し、該加熱した機械的合金化処理粉末を直接押出、圧延又は鍛造することによって得ら

れることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 17】請求項 6、7、12～15 のいずれかにおいて、前記摩擦攪拌接合法によって接合された後、時効処理されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物。

【請求項 18】請求項 1～17 のいずれかにおいて、前記摩擦攪拌接合法は、水、オイル及び不活性ガスのいずれかの冷却剤中、又は接合部の近傍または全体に対して前記冷却剤の噴出によって強制的に冷却しながら接合されることを特徴するアルミニウム基接合構造物。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、微細結晶体から成るアルミニウム基材料の摩擦攪拌接合法による非溶融接合法によって微細結晶体が持つ強度、耐食性等の優れた特性を維持した接合構造物のアルミニウム基接合構造物に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の金属材料の構造物を組み立てる接合法としては、材料を互いに突き合わせた部分を溶融させる溶接法が一般である。溶接により溶融部の材料の組織は解消され凝固組織となり、また熱影響部の結晶粒は成長、粗大化する。できるだけ熱影響部での結晶粒の成長、粗大化を抑制するために、母材への溶接入熱を少なくすることができるレーザ溶接（特開平11-170088）、電子ビーム溶接（特開昭62-64486）、マイクロアーク溶接（特開平9-192838）あるいは狭開先溶接方法（特開2000-246438）がある。また互いの被加工物を互いに付き合わせ高速回転して摩擦加熱により接合法（特開2000-015462）もある。一方、母材を溶融させない接合法としては、低融点のフィラーを溶融して接合する半田、ロー付け方法がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】近年、材料の強度、耐食性等の望ましい特性を付与する方法として、結晶粒微細化の方法があり、結晶粒径が $5\mu\text{m}$ 以下の多くの微結晶アルミニウム系材料が開発され、またされつつある（例えば、第2回スーパーメタルシンポジウム講演集(1999)〔(財)金属系材料研究開発センタ他〕）。半田、ロー付け方法ではなく、それらの微結晶体材料を用いて互いの材料を融合させた方法で接合部を作り、構造物を組み上げる時、たとえ低入熱溶接法としてのレーザ溶接、電子ビーム溶接、マイクロアーク溶接あるいは狭開先溶接方法を用いたとしても、溶融という方法で接合する限り接合部は融点まで温度が上がり、結晶粒径を制御した微細組織は接合部で解消され、熱影響部も結晶粒の成長は避けられない。また、溶融後、凝固、冷却過程を経ることで被溶接部の変形は避けられない。付き合わせ摩擦接合では通常の板材を含む接合構造物製造には不適である。

【0004】本発明の目的は、アルミニウム基材料の中でも結晶粒径をより微細にした微細結晶体に対して、その特性を維持できる接合構造を有するアルミニウム基接合構造物を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100\sim 5\times 10^3\text{nm}$ であるアルミニウム又はアルミニウム基合金が、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物にある。

【0006】又、本発明は、被接合材の少なくとも一方が、機械的合金化処理され焼結されたアルミニウム基合金、繰返し重ね圧延アルミニウム基合金、異周速冷間圧延アルミニウム基合金及びクロス冷間圧延アルミニウム基合金のいずれかで、好ましくは平均結晶粒径が $100\sim 5\times 10^3\text{nm}$ であり、摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物にある。

【0007】更に、本発明は、被接合材の少なくとも一方の平均結晶粒径が $100\sim 5\times 10^3\text{nm}$ であるアルミニウム基合金と、平均結晶粒径が $5\times 10^3\text{nm}$ を超える純アルミニウム又はアルミニウム基合金とが摩擦攪拌接合法によって接合されていることを特徴とするアルミニウム基接合構造物にある。

【0008】すなわち化学成分的に同種または異種の2つの微結晶体を非溶融接合プロセスである摩擦攪拌接合法によって接合する。また上記微結晶体を用いた接合構造物は、微結晶体の接合が摩擦攪拌接合法によって施工されている構造物である。

【0009】本発明は、重量で、 $\text{Si}+\text{Fe}$ 1.0%以下、 Cu 0.2%以下、 Mn 0.05%以下、 Mg 0.1%以下、 Zn 0.1%以下、 Ti 0.1%以下を含有し、残部が Al と不可避不純物からなる純アルミニウムにおいて、それらの平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0010】本発明は、重量で、 $\text{Si}+\text{Fe}$ 1.0%以下、 Cu 0.2%以下、 Mn 0.05%以下、 Mg 0.1%以下、 Zn 0.1%以下、 Ti 0.1%以下を含有し、残部が Al と不可避不純物からなる純アルミニウムにおいて、平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と 5×10^3 を超える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0011】本発明は、重量で、 Si 1.2%以下、 Fe 0.7%以下、 Cu 3.9～6.8%、 Mn 1.2%以下、 Mg 1.8%以下、 Cr 0.10%以下、 Zn 0.25%以下、 $\text{Zr}+\text{Ti}$ 0.25%以下を含有し、残部が Al と不可避不純物からなるアルミニウム—銅—マグネシウム系合金において、それらの平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0012】本発明は、重量で、 Si 1.2%以下、 Fe 0.7

%以下, Cu 3.9~6.8%, Mn 1.2%以下, Mg 1.8%以下, Cr 0.10%以下, Zn 0.25%以下, Zr+Ti 0.25%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—銅—マグネシウム系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0013】本発明は、重量で、Si 0.6%以下, Fe 0.8%以下, Cu 0.30%以下, Mn 0.8~1.5%, Mg 1.3%以下, Cr 0.20%以下, Zn 0.40%以下, Ti 0.10%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マンガン系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0014】本発明は、重量で、Si 0.6%以下, Fe 0.8%以下, Cu 0.30%以下, Mn 0.8~1.5%, Mg 1.3%以下, Cr 0.20%以下, Zn 0.40%以下, Ti 0.10%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マンガン系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と, 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0015】本発明は、重量で、Si 0.40%以下, Fe 0.50%以下, Cu 0.20%以下, Mn 1.0%以下, Mg 0.50~5.0%, Cr 0.35%以下, Zn 0.25%以下, Ti 0.20%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0016】本発明は、重量で、Si 0.40%以下, Fe 0.50%以下, Cu 0.20%以下, Mn 1.0%以下, Mg 0.50~5.0%, Cr 0.35%以下, Zn 0.25%以下, Ti 0.20%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と, 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0017】本発明は、重量で、Si 0.40~0.8%, Fe 0.7%以下, Cu 0.15~0.40%, Mn 0.15%以下, Mg 0.8~1.2%, Cr 0.04~0.35%, Zn 0.25%以下, Ti 0.20%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0018】本発明は、重量で、Si 0.40~0.8%, Fe 0.7%以下, Cu 0.15~0.40%, Mn 0.15%以下, Mg 0.8~1.2%, Cr 0.04~0.35%, Zn 0.25%以下, Ti 0.20%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と, 5

$\times 10^3$ を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0019】本発明は、重量で、Si 0.40%以下, Fe 0.50%以下, Cu 1.2~2.0%, Mn 0.30%以下, Mg 2.1~2.9%, Cr 0.18~0.28%, Zn 5.1~6.1%, Zr+Ti 0.25%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある2つの部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0020】本発明は、重量で、Si 0.40%以下, Fe 0.50%以下, Cu 1.2~2.0%, Mn 0.30%以下, Mg 2.1~2.9%, Cr 0.18~0.28%, Zn 5.1~6.1%, Zr+Ti 0.25%以下を含有し, 残部がAlと不可避不純物からなるアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において, 平均結晶粒径が前述の範囲にある一方の微結晶の部材と, 5×10^3 を越える範囲にある他方の部材が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0021】本発明は、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmである純アルミニウム, アルミニウム—銅—マグネシウム系合金, アルミニウム—マンガン系合金, アルミニウム—マグネシウム系合金, アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金, およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金において, それらの内, 2つの異種の純アルミニウムまたはアルミニウム基合金同士が摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0022】本発明では、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmの範囲にあるアモルファス相を含まないアルミニウム基微結晶は、合金粉末に、炭化物粉末、窒化物粉末または酸化物粉末を混合し、アトライターあるいはボールミル装置により機械的グラインディング及び合金化処理し、該加工粉末を適切な材料、寸法及び形状の容器に真空封入した後、好ましくは $400 \sim 500^\circ\text{C}$ の温度範囲で粉末直接押出、圧延もしくは鍛造する事で作製されることを特徴とする。

【0023】本発明は、純アルミニウム, アルミニウム—銅—マグネシウム系合金, アルミニウム—マンガン系合金, アルミニウム—マグネシウム系合金, アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金, およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金の内の一合金からできた、平均結晶粒径が $100 \sim 5 \times 10^3$ nmの範囲にある微結晶を有する部材と、前記純アルミニウムおよびアルミニウム合金の内前記微結晶と異なる一合金からできた、平均結晶粒径が 5×10^3 nmを越える範囲にある結晶を有する部材が、摩擦攪拌接合法によって接合されることを特徴とする。

【0024】本発明では、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金, アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金, またはアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金が、同種どうしまたは異種の純アルミニウムおよびアルミニウム合金と摩擦攪拌接合法によって接合された後、

好ましくは100~200℃の温度で時効処理されることを特徴とする。

【0025】本発明では、アルミニウム基材料微結晶体の摩擦攪拌接合は、水またはオイルまたは不活性ガスのいずれかの冷却剤の中でまたは接合部の近傍または全体に前述の冷却剤をかけながら接合するのが好ましい。

【0026】摩擦攪拌接合は、特表平7-505090号公報に記載されているように、高速回転する耐熱性、難反応性材料からなる棒（ツール）を接合しようとする部分に押し付けることにより発生する摩擦熱で容易に融点以下の高温となり、金属被加工物に塑性流動を起こし両側の金属部分を攪拌接合する方法である。さらにツールを接合線に沿って移動することにより接合、曲線接合部を含む接合構造物が作製できる。付き合わせ摩擦接合では接合、曲線接合は困難である。

【0027】一方、前記したように、各種材料組織制御プロセスの革新によりアルミニウム基材料では粒径100nm以上5μm以下の超微細結晶が製造されている

（例えば、第2回スーパーメタルシンポジウム講演集(1999)〔(財)金属系材料研究開発センタ他〕）。しかしながら、微結晶の強度、耐食性等のすばらしい特性も構造物として活かすとき、従来接合方法では微結晶特性を維持することができず、非溶接部材の用途に限定されていた。従来接合方法の低入熱溶接、特に狭開先溶接で対処しようと試みもあるが、溶接部の組織解消、熱影響部の結晶粒粗大化は避けられない。

【0028】アルミニウム基材料の摩擦攪拌接合は、高速回転するツールが被加工物に押し込まれ、発熱しつつ塑性流動攪拌されるときに、十分に高温に耐えるツールの使用、及び攪拌部内部からの押し上げる圧力耐えられる剛性をもった装置で実施できる。一般に摩擦攪拌部の最高温度は摂氏で融点の2/3に相当し、融点が660℃回りにあるアルミニウム基材料では450℃程度にある。この温度での摩擦攪拌部の組織は、微結晶よりも粗大化するが、通常の溶接施工の場合にあらわれる溶融後の凝固組織ではなく、凝固収縮も発生しない。

【0029】また摩擦攪拌部と隣接する部材の熱影響部でも受ける温度—時間の熱履歴が小さいため結晶粒成長は大きくない。これらの効果から従来溶接法に比べて接合後の材料変形は十分に小さい特徴をもつ。特に、結晶粒が微細な分散化合物粒子等によってピンニングされている、つまり材料構造的にその微細分散粒子を生成させて微結晶を形成させているアルミニウム基材料においては、攪拌という高温での塑性変形において超塑性の発現

も活用でき、また存在する微細分散粒子による粒界のピン止め効果も加味されて、接合時の結晶粒成長抑制効果がより大きい。上記の摩擦攪拌接合の優れた効果は、具体的に、平均結晶粒径が、 $100 \sim 5 \times 10^3$ の範囲にある純アルミニウム、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マンガン系合金、アルミニウム—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金にも生じる。

【0030】アルミニウム—銅—マグネシウム系合金、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金は、時効熱処理により高強度化される合金である。溶融させない摩擦攪拌接合といえども、接合部および周辺の熱影響部は溶体化処理温度程度まで温度が上昇するため、時効処理材をそのまま接合しただけでは接合部周辺の強度は低い。したがって、接合後100~200℃で時効処理を実施することにより良質な接合部を得ることができる。

【0031】接合構造物として一部あるいは全てを微結晶材料で構成する場合は、その特性の低下を押さえる摩擦攪拌接合の特徴を活かすことができるが、更に接合構造物内の残留応力及び構造物の変形をより低減すると共に、その高い特性維持するためには、水またはオイルまたは不活性ガスのいずれかの冷却剤で接合部を強制的に冷却する施行を実施することがより効果的である。

【0032】

【発明の実施の形態】（実施例1）表1は本発明に係る摩擦攪拌接合、つまり突き合わせ接合の試験に供される板状試料の化学成分（重量%）である。ここでは、純アルミニウム（No. 1）、アルミニウム—銅—マグネシウム系合金（No. 2）、アルミニウム—マンガン系合金（No. 3）、アルミニウム—マグネシウム系合金（No. 4）、アルミニウム—マグネシウム—シリコン系合金（No. 5）、およびアルミニウム—亜鉛—マグネシウム系合金（No. 6）の代表例となる微結晶材料と、通常の結晶粒径（5μm以上）を有し、化学成分において、あるいは結晶学的、組織的に上記の材料に最も近い代表的な材料（No. 7—12）を示す。また、表1には同時に各供試材の平均結晶粒径、強度データとしての引張強さ、塑性伸びも示される。

【0033】

【表1】

表 1

供試材料		主 要 化 学 組 成 (重量%)									
No.	材料系	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
1	純Al	0.19	0.23	0.03	0.04	0.03	-	0.03	0.04	-	残部
2	Al-Cu-Mg系	0.52	0.65	3.8	0.51	0.48	0.10	0.24	0.09	0.13	残部
3	Al-Mn系	0.60	0.72	0.31	1.22	0.34	0.09	0.25	0.11	-	残部
4	Al-Mg系	0.24	0.39	0.09	0.82	2.78	0.14	0.28	0.19	-	残部
5	Al-Mg-Si系	0.59	0.36	0.11	0.12	0.82	0.09	0.11	0.10	-	残部
6	Al-Zn-Mg系	0.28	0.34	0.18	0.31	0.9	0.24	5.1	0.21	0.24	残部
7	純Al	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	-	0.04	0.03	-	残部
8	Al-Cu-Mg系†	0.50	0.7	4.0	0.50	0.50	0.10	0.25	0.08	0.12	残部
9	Al-Mn系†	0.61	0.7	0.30	1.2	0.35	0.10	0.25	0.10	-	残部
10	Al-Mg系†	0.25	0.40	0.10	0.83	2.8	0.15	0.25	0.20	-	残部
11	Al-Mg-Si系†	0.60	0.35	0.10	0.10	0.80	0.10	0.10	0.10	-	残部
12	Al-Zn-Mg系†	0.30	0.35	0.20	0.30	1.0	0.25	5.0	0.20	0.25	残部

供試材料		平均の結晶粒径d	引張強さ (MPa)	伸び (%)
No.	材料系			
1	純Al	720 nm	292	9
2	Al-Cu-Mg系	2.1 μ m	520	10
3	Al-Mn系	1.6 μ m	360	8
4	Al-Mg系	1.8 μ m	502	6
5	Al-Mg-Si系	380 nm	355	5
6	Al-Zn-Mg系	1.8 μ m	620	18
7	純Al†	84 μ m	110	8
8	Al-Cu-Mg系†	53 μ m	408	10
9	Al-Mn系†	72 μ m	205	10
10	Al-Mg系†	52 μ m	295	12
11	Al-Mg-Si系†	58 μ m	306	12
12	Al-Zn-Mg系†	64 μ m	562	12

*: MM+HIP+熱間加工プロセスで作製された微結晶

*: 圧延+熱処理プロセスで作製された微結晶

†: JIS規格の通常材料

【0034】粒径の測定は、平均粒径1 μ m以下のものについてはTEM観察の暗視野像に対して、平均粒径1 μ m以上のものについてはSEM観察像に対して実施した。No. 8, 11, 12の材料の強度と伸びは、溶体化処理後人工時効処理を施した場合の値である。

【0035】図1に代表例としてNo. 1の微視組織を示す。平均粒径は720nmである。表1に示す材料は、表2に示すプロセスで作成された。No. 1~6の微結晶板材の具体的な作成方法について以下に示す。No. 1およびNo. 5の材料は、まず熱間加工で厚さ4mmに加工した板材を、所定の温度で圧下率50%の無

潤滑圧延を行った。次に、この圧延材を圧延方向で二等分し表面をワイヤブラシで研磨して、これらを重ね合わせ再度所定の温度で圧下率50%の圧延を行う。これを1サイクルとして、No. 1では8サイクル、No. 5では6サイクル繰返した。No. 2とNo. 6の材料は、熱間圧延で厚さ50mmとしたブロック材に対して、340℃で温間圧延を行った。厚さ2mmまで1パスごとに圧延方向を90°変えるクロス圧延を16パス行った。

【0036】

【表2】

表 2

供試材料		作製プロセス	接合後熱処理
No	材料系		
1	純Al	溶製材を熱間圧延後、200℃で繰返し重ね接合圧延を6サイクル	-
2	Al-Cu-Mg系	溶製材を熱間圧延後、340℃でクロス圧延を16パス	時効処理(175℃10時間)
3	Al-Mn系	ガスアトマイズ粉末を、TiCとともにメカニカルアロイングし、450℃で熱間押出、冷間圧延	-
4	Al-Mg系	溶製材を熱間圧延後、90%異周速冷間圧延	-
5	Al-Mg-Si系	溶製材を熱間圧延後、室温で繰返し重ね接合圧延を6サイクル	時効処理(175℃8時間)
6	Al-Zn-Mg系	溶製材を熱間圧延後、340℃でクロス圧延を16パス	時効処理(120℃24時間)
7	純Al	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
8	Al-Cu-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(505℃に保持後水冷)	時効処理(175℃10時間)
9	Al-Mn系†	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
10	Al-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、冷間圧延まま	-
11	Al-Mg-Si系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(525℃に保持後水冷)	時効処理(175℃8時間)
12	Al-Zn-Mg系†	溶製材を熱間圧延後、溶体化熱処理(460℃に保持後水冷)	時効処理(120℃24時間)

*: MM+HIP+熱間加工プロセスで作製された微結晶

*: 圧延+熱処理プロセスで作製された微結晶

†: JIS規格を含む通常材料

【0037】No. 3の材料は表1に示した組成のガスアトマイズ粉末を作製し、その粉末にTiC粉末を添加し、SUS304鋼のボールとともに、SUS304鋼製の高エネルギーボールミル容器内でメカニカルアロイング(MA)処理することにより強加工粉末を得る。加工粉の重量は約1kgである。MA処理粉末を軟鋼缶中に真空キャニングし、450℃に加熱後すばやく、押出比約6で熱間押出加工を行った。熱間押出材は冷間圧延により、最終的に $2 \times 50 \times 200 \text{ mm}^3$ の寸法に加工される。MA処理の強加工によって粉末内の組織はナノレベルまで微細化し、固化成形プロセスでの組織の粗大化を、TiCあるいは材料中の金属間化合物の微細析出により抑制され、微細結晶が得られる。

【0038】No. 4の材料は、板厚20mmの熱間圧延

材に対して、上下ロール異周速比1.5、高速ロール側の圧延速度0.16m/s、無潤滑の条件で異周速圧延を行った。圧延前に340℃まで加熱し、最終的に板厚2mmまで圧延した。

【0039】付き合わせ接合は表3に示される組み合わせに従い実施される。例えば、表1のNo. 1とNo. 7の材料の接合組み合わせは1-7として表示される。表1の材料に対して全ての付き合わせ接合は実施されないが、本発明に関する微結晶同士、微結晶と通常参照材、純アルミニウム、アルミニウム-銅-マグネシウム系合金、アルミニウム-マンガン系合金、アルミニウム-マグネシウム系合金、アルミニウム-マグネシウム-シリコン系合金、およびアルミニウム-亜鉛-マグネシウム系合金間の異種接合の実施例としては十分である。

【0040】図2は摩擦攪拌接合方法を示す斜視図である。まず、組み合わせの供試材1, 2が鉄製の定盤上に置かれ、付け合わせた後、押さえ治具3で固定する。高速回転する棒状の工具鋼製ツール4を接合部に挿入し、接合線5に沿って移動させることで摩擦攪拌接合を実施する。供試材1, 2は接合中、 -20°C に管理されたオイルによって冷却される。接合後には接合ビード6が形成され、接合断面7中央から母材に向けて塑性流動域、塑性変形域、熱影響部が形成される。

【0041】工具鋼製ツールの先端は凸型になっており、最先端の小径部（ピン）はMネジが切れおき、その寸法は $5\text{mm}\phi$ 、長さは 2mm 弱、大径のショルダー部は $15\text{mm}\phi$ である。小径部は、ショルダー部が被加工物に接するまで、材料中に挿入される。回転数は 1000rpm 、移動速度は $200\text{mm}/\text{min}$ とした。回転数と移動速度は可変であるが、本実施では上記に固定した。

【0042】また、接合時の接合温度測定も、付け合わせ部の下方に熱電対を埋め込むことによって、No. 3, 5, 6材に関して実施した。接合ビード直下の温度はどの場合も $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、融点の約 $2/3$ に相当した。また、供試材を固定している定盤の底部に設置したロードセルによって、接合時の下向き荷重を測定した結果、接合時のツールへの最大圧力は材質によるが $65\sim 95\text{MPa}$ の範囲にあった。

【0043】図3は代表例として3-3継ぎ手の外観と、断面を示す写真である。接合欠陥もなく接合されて

いる。接合ビード幅はツールショルダー径にほぼ一致しており、断面形状から供試材1, 2の付け合わせ面を完全に攪拌したように裏面まで接合されている。実施した全ての付け合わせ接合試験において同様の結果が得られた。組織的には、3-3接合体の攪拌部の結晶粒径は $3.2\mu\text{m}$ と、粗大化の程度は大きくない。摩擦攪拌接合は微結晶組織を十分保てる接合方法と言える。

【0044】表3に実施された、付け合わせ接合試験の接合部の評価結果を纏めて示す。評価は摩擦攪拌接合部を含む構造物の実用性判断から良し（○）、概ね良し（△）、不合格（X）で表示し、攪拌部の粒径（○：攪拌部の結晶粒径が $5\mu\text{m}$ 以下、△： $5\mu\text{m}$ から参照の通常材（No. 7-12）の粒径の範囲、X：通常材粒径以上および組織的に実用化には不可の場合）、引張強さ（○：微結晶の値と参照材の値の和の $1/2$ 以上、△：微結晶の値と参照材の値の和の $1/2$ から参照材の値の範囲、X：参照材の値以下）、塑性伸び（○： 10% 以上、△： 3 から 10% の範囲、X： 3% 以下）とした。接合部の総合評価は良し（○）、不可（X）で示す。継ぎ手の引張試験は、変形部が中央に約 15mm 幅の接合部を含み、ゲージ部寸法が $1.5\times 4\times 35\text{mm}^3$ であるショルダー付きの試験片を接合材から切り出し、加工して実施される。

【0045】

【表3】

表 3

継ぎ手組合せ	攪拌部の粒径評価	引張り強さ評価	伸び評価	総合評価	備 考
1-1	△	△	△	△	攪拌部と熱影響部で粒径7μmまで結晶粒成長。 伸び8%。熱影響部で破断。
2-2	○	○	△	○	伸び9%。接合部で破断。
3-3	○	○	△	○	伸び7%。接合部とNo. 3材界面で破断。
4-4	○	○	△	○	伸び5%。接合部で破断。
5-5	○	○	△	○	伸び4%。接合部で破断。
6-6	○	○	○	○	伸び12%。接合部で破断。
1-7	△	○	○	○	伸び14%。No. 7材で破断。
2-8	○	○	○	○	伸び10%。No. 8材で破断。
3-9	○	○	△	○	伸び9%。No. 9材で破断。
4-10	○	○	△	○	伸び8%。No. 10材で破断。
5-11	○	○	△	○	伸び8%。No. 11材で破断。
6-12	○	○	○	○	伸び12%。No. 12材で破断。
2-3	○	○	△	○	伸び9%。No. 3材で破断。
2-9	○	○	○	○	伸び10%。No. 9材で破断。
4-5	○	○	△	○	伸び5%。No. 5材で破断。
4-11	○	○	○	○	伸び10%。No. 11材で破断。
6-1	△	△	△	△	No.1の熱影響部で粒径7μmまで粒成長。 伸び9%。No. 1の熱影響部で破断。
6-7	○	○	○	○	伸び12%。No. 7材で破断。

【0046】付き合わせ接合の結果を総合的に見てみると、以下のような結果になる。微結晶同士の接合では結晶粒の成長はあるものの攪拌部は微結晶組織である。強度特性も十分である。異材との接合は攪拌部では、互いがミクロレベルで混合した均質な組織ではなく相互の組織がマクロ的に確認できる混合組織となっている。ここでNo. 2-No. 6の微結晶母材の接合部は粒成長するものの依然微結晶である。No. 1の純アルミニウムは分散粒子がないために、特に熱影響部において粗大化の程度が大きかった。

【0047】継ぎ手がNo. 7-12である場合は相互の結晶粒は確認でき、微結晶側よりも結晶粒径はやはり十分に大きい。表3では総合評価を○としたが、2-2、5-5、6-6、2-8、5-11、6-12、2-3、2-9、4-5、4-11、6-1、6-7の引張試験片に対して、それぞれ表2に記載の時効処理を実施すると、攪拌部ならびに熱影響部は勿論母材部も硬化し、堅固な接合部を得ることができ、接合部の強度と変形特性が向上する。接合構造物において、時効処理により高強度化するアルミニウム合金について、接合部を含めた部分あるいは全体を上記のような方法で熱処理

することで健全な接合構造物を得ることができる。

【0048】（実施例2）実施例1の付き合せ接合により微結晶体材料の接合性は基本的に十分評価できるが、接合構造物の中で活用される各種接合方法に関し実施例を示す。ここでは、図4に示すように重ね合わせ接合を実施する。本接合では付き合せ接合ではないが、代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。板材の寸法は実施例1と同じである。定盤の上に一方の板材8を置き、付き合わせるように同じ厚さの鉄製の受け手材9を置く。板材8に重なるようにもう一方の板材10を置き、押さえ治具3で各板材を固定する。重ね幅は15mmである。

【0049】ショルダー径12mm、ピン径4mm、ピン長さ3mmの工具鋼製ツール4を用い回転数1000rpm、移動速度200mm/minで接合した。接合深さは3mm程度で、下の板材8には1mm程度の深さまで攪拌接合される。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の結果と同様の評価を与える。重ね合わせの上下が変わっても接合攪拌部状態は変わらない。3例であるが、他の組み合わせでも十分接合は期待できる。

【0050】（実施例3）図5に示すようにT型継ぎ手の接合を実施する。本接合では代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。板材の寸法は実施例1と同じである。ここで、立てた一方の板材11を挟み込むように鉄製の受け手材12を設定し、その上に中央部が立てた板材11上に設定できるように他方の板材13を置き、押し付け治具3及び14で各板材を固定する。タングステン製ツール4先端寸法は実施例2と同じである。回転数1000rpm、移動速度200mm/minで接合した。4-11の組み合わせについては、接合後表2記載の175℃8時間の時効処理を実施した。接合状況は実施例2と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0051】（実施例4）図6に示すようにT型継ぎ手の接合を実施する。本接合では代表例として表1のNo. 4、6に対してパイプの製作を実施する。2x100x200mm³寸法の上記の板材を円筒材15になるように曲げ変形させた後、鉄製の受け手板16を付き合わせ線、すなわち接合線5の真下に来るように挿入する。その後開先が開かないよう点溶接あるいは摩擦攪拌接合で仮付け17処理する。受け板を固定し、さらに押さえ治具3で円筒を十分固定する。接合線5にツールを挿入し、接合線5に沿って移動することでパイプを作製できる。端部の未接合部は切断除去する。ここでタングステン製ツール4先端寸法はショルダー径が8mm、ピン径が4mm、その長さは2mm弱とする。回転数1200rpm、移動速度200mm/minで接合した。接合状

況は実施例1と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例1の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0052】（実施例5）図7に示すようにパイプ継ぎ手の接合を実施する。パイプ材のNo. 4、10、11は実施例4に準じて作製されるものである。本接合では代表例として表3の4-4、4-10、4-11の組み合わせを用いる。各パイプの長さは150mmである。パイプ材18にパイプ内径に十分近い円盤上の受け手材19をその厚さの半分程度挿入し、片方に他方のパイプ20を挿入する。付き合わせ面（溶接線5）が開かないように実施例と同様に対角になるよう4点仮付け17しておく。パイプの両端を押さえ治具3で固定し、ツールを接合線5に挿入する、この場合、ツールは回転数1200rpmとして動かさず、パイプ全体をパイプの中心で回転させながら接合速度移動速度130mm/minで双方のパイプを接合する。

【0053】4-11の組み合わせについては、接合後表2に記載の175℃8時間の時効処理を実施した。接合状況は実施例2と同様である。強度試験は実施していないが、接合断面の光学顕微鏡、SEMによる組織観察は実施例2、3の結果と同様の評価を与える。他の組み合わせでも十分同じ接合特性が期待できる。

【0054】実施例1～5で代表的な摩擦攪拌接合方法を実施したが、構造物の接合組み立てに必要な異厚材の接合、充填材を隅に貼り付け固定して実施する隅肉接合等の他の摩擦攪拌接合も実質的に可能であり、微結晶体材料を組み合わせた構造物の接合に摩擦攪拌接合は十分に適用できる。

【0055】

【発明の効果】本発明によれば、アルミニウム基合金微結晶体の優れた強度、耐食性といった特性を損なうことなく、この微結晶体同士、もしくはこの微結晶体と粒径5μm以上の結晶体との接合体からなるアルミニウム基接合構造物を作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 微結晶アルミニウム基合金のTEM組織を示す模式図。

【図2】 突き合わせ摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図3】 微結晶アルミニウム合金の摩擦攪拌接合部の外観写真。

【図4】 重ね合わせ摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図5】 T型摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【図6】 摩擦攪拌接合によるパイプ作製方法を示す斜視図。

【図7】 パイプの摩擦攪拌接合方法を示す斜視図。

【符号の説明】

1、2…組み合わせの供試材、3、14…押さえ治具、4…ツール、5…接合線、6…接合ビード、7…接合断

面、8、10、11、13…板材、9、12、16、1 0…パイプ材。
9…受け手材、15…円筒材、17…仮付け、18、2

フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード (参考)
C 2 2 C	21/06	C 2 2 C	21/06
	21/10		21/10
	21/12		21/12
// B 2 3 K	103:10	B 2 3 K	103:10
(72) 発明者 岡村 久宣		(72) 発明者 土井 昌之	
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株		茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株	
式会社日立製作所日立研究所内		式会社日立製作所日立研究所内	
(72) 発明者 青田 欣也		F ターム (参考)	4E067 AA05 BG00 BG06 DC05 DD01
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株			4K018 AA15 AA17 AB01 AB02 AB03
式会社日立製作所日立研究所内			KA01